

PERCEÇÃO DE LINGUAGEM EM INDIVÍDUOS COM AUDIÇÃO NORMAL E DEFICIENTE

Maria Angela Guimarães Feitosa
Universidade de Brasília

RESUMO - Neste artigo reviram-se algumas relações básicas em psico-física acústica, chamando atenção para a possível especialização do sistema auditivo humano para o processamento de linguagem. Foram revistos alguns dados de pesquisa como subsídio para os seguintes argumentos: a) produzir fala depende de ouvir; b) responder a fala de forma significativa depende de ouvir; c) dificuldade ou impossibilidade de ouvir cria dificuldades para a utilização da fala como forma de comunicação. Finalmente, foram levantadas algumas questões sobre a pesquisa e a tecnologia de manejo da deficiência auditiva e da comunicação do, e com o, portador de deficiência auditiva.

LANGUAGE PERCEPTION IN NORMAL AND HEARING-IMPAIRED INDIVIDUALS

ABSTRACT — Some basic relations in acoustical psychophysics were reviewed in this article, calling attention to a possible specialization of the human auditory system for language processing. Some research data were reviewed in support to the following statements: a) speaking depends on hearing; b) responding to speech in a meaningful way depends on hearing; c) impairment of hearing hampers the use of speech as a form of communication. Finally, some issues were raised on the research and technology for the management of hearing impairment and communication by, and with, the hearing impaired.

O OUVIDO HUMANO NORMAL

Som é aquele estímulo físico que evoca a sensação de ouvir (Durrant & Lovrinic, 1977). Embora simples, esta definição impõe uma condição importante, a produção de comportamento. Som é, por definição, um estímulo de significado comportamental. O ser humano percebe como som ondas acústicas com frequência entre 20 e 20.000 Hertz (Hz) aproximadamente¹. O limiar absoluto de sensibilidade, ou seja o menor deslocamento de uma molécula de ar suficiente para produzir sensação auditiva, está próximo do deslocamento de moléculas de ar que ocorre no movimento Browniano. Para sons de frequência intermediária, a diferença entre o limiar absoluto de sensibilidade e o limiar de desconforto, é da ordem de 140 a 150 decibéis². Mesmo considerando que o limiar absoluto é obtido em condições muito controladas de laboratório, e que antes mesmo de atingir o limiar de desconforto o

¹ Estes e outros valores são arredondados para simplicidade de exposição.

² O decibel (dB) é uma medida relativa que expressa a razão entre duas quantidades. Em

som já é ineficiente para fins de comunicação, o ouvido humano ainda tem uma variação dinâmica efetiva de pelo menos 100 decibéis.

Ao parâmetro físico de frequência da onda acústica corresponde a dimensão psicológica de grave-agudo. Um som que é descrito como grave possui frequência mais baixa; um som que é descrito como agudo possui frequência mais alta. Por exemplo, entre os sons musicais, a frequência da nota mais grave de um contrabaixo é aproximadamente 29 Hz, a frequência da nota mais aguda de um flautim é de 3950 Hz, e as frequências harmônicas que dão os sobretons em sons orquestrais atingem 12.000 Hz (Geldard, 1972).

Ao parâmetro físico de amplitude da onda acústica nos referimos como nível ou intensidade do som. O indivíduo responde a isto com o que se poderia denominar percepção de "loudness"³. Para termos uma idéia do que alguns valores de nível significam psicologicamente, o nível da respiração normal mede 10 dB SPL; um sussurro suave, 30; a voz falada em altura média a 1 metro de distância, 60; o tráfego urbano, 80; um trovão forte, 110; e um motor de jato na decolagem, 140 (Licklider, 1951; S.S. Stevens, 1975).

Aumentando a intensidade do som, cresce sua dimensão de "loudness". Esta relação entre magnitude do estímulo e a magnitude da resposta é descrita por uma função exponencial, a lei da potência de Stevens (S.S. Stevens, 1975).

Sons de intensidade igual mas frequência diferente podem ser percebidos como diferentes em "loudness". Isto é tão mais verdade quanto mais próximo do limiar absoluto. Expresso de outra forma, sons de frequências diferentes podem requerer intensidades diferentes para que sejam percebidos como iguais em nível de "loudness" (Fletcher & Munson, 1933). Por exemplo, um aumento em nível de "loudness" que exige um aumento de 80 decibéis a 2000 Hz exige um aumento de 67 decibéis a 100 Hz. Isto explica porque quando abaxamos o nível do som de nosso equipamento de som, percebemos uma queda na qualidade da música, que pode ser "recuperada" quando é acionado o botão de "loudness", que contém um circuito de compensação baseado no fenômeno acima descrito (Durrant & Lovrinic, 1977).

A quantidade de mudança em intensidade que um som precisa sofrer para ser percebido como diferente em nível é proporcional ao valor do estímulo de comparação ou referência. Esta relação, conhecida na literatura psicofísica como a equação de Weber, é também válida para outras modalidades sensoriais (S.S. Stevens, 1975). Por exemplo, qualquer pessoa é capaz de detectar a existência de diferença de peso entre um envelope de carta contendo duas folhas de papel e outro contendo três. Não obstante esta mesma diferença provavelmente não será detectável se a comparação for entre 50 e 53 folhas. A possibilidade de detecção de diferença, para estes valores maiores, exige que a diferença seja proporcionalmente maior.

acústica a unidade usualmente empregada é pressão e neste caso o decibel é 20 vezes o logaritmo na base decimal da razão entre duas pressões. Quando o denominador da razão é o valor padrão de pressão de 20 uPa fala-se em dB SPL (de "sound pressure level"). Quando a referência é o limiar absoluto de audição padrão da população, fala-se em dB HL (de "hearing level"). Quando a referência é o limiar de audição de um organismo particular em circunstâncias específicas, fala-se em dB SL (de "sensation level"). Neste artigo é usada a referência SPL.

Curiosamente o número de vocábulos correntemente usados na língua portuguesa para descrever dimensões psicológicas do som é reduzido, e a palavra "volume" é sistemática e erroneamente usada como correspondente psicológico de intensidade quando na realidade volume depende de intensidade e frequência (Stevens, 1975).

OS SINAIS ACÚSTICOS DA LINGUAGEM E SUA RELAÇÃO COM A AUDIÇÃO

A descrição da fala tem seguido duas tradições independentes. De um lado a ênfase no locutor, levando a descrições mais topográficas sobre como as estruturas articulatórias do aparelho fonador produzem unidades lingüísticas. De outro lado a ênfase no ouvinte, levando a descrições acústicas do sinal e à tentativa de identificação de características invariantes da fala (Cooper, 1980). Como neste trabalho está se chamando atenção para a relação entre linguagem e audição, será dada maior ênfase à análise acústica.

Os sinais acústicos produzidos pelo aparelho fonador e que compreendem a fala são estímulos muito complexos e variáveis, qualquer que seja a forma de descrevê-los. Sons complexos são matematicamente analisáveis de forma satisfatória com o emprego da análise de Fourier. A questão ainda não inteiramente resolvida diz respeito a quais dimensões, ou quais combinações de dimensões, nestes estímulos acústicos complexos, constituem, de fato, os sons da fala.

Do ponto de vista acústico, a fala é uma onda contendo freqüências entre 50 e 4.000 Hz e intensidades na faixa de 30 a 80 decibéis (Green, 1976). Analisando-se sua distribuição de energia como função do tempo, verifica-se seqüências de produção e pausa que podem ser descritas por um ciclo útil de 50%. Analisando-se a distribuição de energia como função de freqüência, verifica-se que quase toda a energia está abaixo de 1.000 Hz, com maior concentração na banda de oitava⁴ centrada em 300 Hz. A freqüência fundamental⁵ da voz define sua tonalidade - a da voz masculina está entre 75 e 100 Hz e a da voz feminina entre 150 e 200 Hz aproximadamente.

Analisando-se espectrograficamente trechos de fala, verifica-se a presença de segmentos de bandas múltiplas de freqüência. Estas bandas, chamadas formantes, correspondem a freqüências de ressonância do trato vocal. Elas podem ou não apresentar modulação, não só de freqüência como de amplitude em função de tempo. Num segmento os formantes são identificados por uma classificação ordinal — a banda de freqüência mais baixa é denominada primeiro formante, a seguinte segundo formante, e assim por diante. Embora num segmento qualquer de fala se possa identificar vários formantes, são os dois primeiros que em geral contêm mais energia e é neles que se tem concentrado os esforços de pesquisa a respeito das discriminações necessárias para a identificação dos diversos sons da fala.

Há na literatura em percepção de fala, a hipótese de que o sistema auditivo está, de alguma forma, predisposto a manipular segmentos e padrões do tipo que ocorre na fala (cf. K.N. House, 1972). Embora esta hipótese seja freqüentemente explicitada no contexto da linguagem humana, uma hipótese mais geral a ser considerada é a de que o sistema auditivo tem capacitação especial para manipular os sons de significado biológico para a espécie (Suga, 1978). Isto pode ser verificado quer na forma de especialização de estruturas, de especialização de função, quer a nível de prontidão ou preparação para certos tipos de aprendizagem. Algumas linhas de pesquisa que apontam nesta direção serão indicadas a seguir.

⁴ Uma banda de oitava é uma faixa de freqüência com largura tal que seu limite superior é o dobro do inferior.

⁵ Em um som complexo, denomina-se fundamental a freqüência de valor mais baixo.

É um achado sistemático no reino animal, seja por medidas comportamentais ou eletrofisiológicas, que os sons de comunicação da espécie correspondem à faixa de audição para a qual a espécie possui sensibilidade máxima ou exclusiva. Verifica-se esta relação em representantes de vários agrupamentos animais, como por exemplo, entre morcegos (Suga, 1978; Schuller & Pollack, 1979); entre aves (Leppelsack, 1978); entre anuros (Capranica, 1978); e entre grilos (Hill & Boyan, 1977). Entre alguns animais, como o homem, a sensibilidade máxima ocorre para os sons de comunicação da própria espécie. Entre outros, a sensibilidade máxima ocorre para sons produzidos por uma espécie diferente. Entre insetos, por exemplo, a mariposa é especialmente sensível a sons na faixa de frequência correspondente aos sons de eco localização dos morcegos insetívoros que as predam (Fenton & Fullard, 1979).

Uma série de experimentos psicofísicos (e.g., Gardner & Wilson, 1979; Regan & Tansley, 1979) mostram a ocorrência de adaptação seletiva a estímulos com propriedades específicas. A interpretação destes experimentos é que o ouvido humano tenha especialização para detectar propriedades como modulação de frequência e de amplitude, características ubíquas de sons da fala. (Vide porém em Wakefield & Viemeister, 1984, uma interpretação diferente dos resultados deste tipo de experimento.)

Extensa experimentação eletrofisiológica, principalmente em felinos (e.g., Katsuki, Watanabe & Maruyama, 1959) demonstra que o córtex auditivo contém neurônios que respondem com maior vigor, ou exclusivamente, a estímulos com características específicas e mais complexas, à semelhança do modo de ação das células do córtex visual.

Finalmente, evidências recentes (Field, Woodson, Greenberg & Cohen, 1982), de que crianças com apenas horas de vida já imitam modelos de expressões faciais, sugerem uma predisposição, uma prontidão precoce para observação de categorias de estímulos às quais pertencem as dicas visuais para a produção da fala.

Mencionamos anteriormente que a quantidade de modificação no estímulo suficiente para que ele seja percebido como diferente é proporcional ao valor do estímulo. Uma situação experimental típica para descrever este fenômeno consiste em apresentar um estímulo de referência e solicitar ao observador que indique se um segundo estímulo é igual ou não, sendo a resposta tipicamente expressa em porcentagem de vezes que o observador considera os dois estímulos como iguais. Quando esta resposta é analisada em função da magnitude da diferença entre os estímulos, ela muda gradualmente e pode ser descrita por uma curva razoavelmente suave.

Entretanto, em algumas circunstâncias, nesta mesma situação experimental básica, a manipulação de certas características do estímulo, relevantes para a discriminação de segmentos diferentes de fala como o tempo de ascensão e a modulação de frequência de formantes (e.g., Kuhl & Padden, 1983), produz uma transição abrupta de uma categoria de resposta para outra. Este fenômeno é conhecido na literatura de percepção de fala como "percepção categórica". Os experimentos iniciais usaram tipicamente sons da linguagem. Posteriormente verificou-se que o fenômeno não era exclusivo nem da fala humana nem de ouvintes humanos. Lenneberg (1967) e Beecher, Petersen, Zoloth, Moody & Stebbins (1979) tecem discussões muito interessantes sobre esta questão. Além disto, evidências recentes (Kewley-Port & Pisoni, 1984) sugerem que pelo menos algumas demonstrações de percepção categórica podem ser explicadas por controle inadequado no espaçamen-

to entre valores sucessivos da variável na tarefa discriminativa. Apesar da crescente evidência de que o fenômeno de percepção categórica não seja exclusivo de sons da linguagem, permanece a possibilidade de que o processamento da linguagem se faça valer de certas especializações do sistema auditivo.

A IMPORTÂNCIA DA AUDIÇÃO PARA A FALA

Esta seção se desenvolve baseada em três afirmações para as quais alguma evidência é apresentada: a) produzir fala depende de ouvir; b) responder a fala de forma significativa depende de ouvir; c) dificuldade ou impossibilidade de ouvir dificulta a utilização da fala como forma de comunicação.

Aquisição de Linguagem

Vocalização é um componente proeminente de interação social entre a criança e outras pessoas no seu ambiente (Bell, 1974). A criança pode iniciar uma interação social ou promover sua manutenção com a emissão de vocalizações. Nesta circunstância as pessoas no meio são agentes reforçadores potenciais do comportamento vocal da criança. O comportamento vocal da mãe (ou outra pessoa) também gera comportamento (vocal ou não) por parte da criança. Nesta circunstância a criança é um agente reforçador potencial do comportamento da mãe. Emitir sons provavelmente também é auto-reforçador para a criança, como uma classe de comportamentos que produz estimulação sensorial.

Estas circunstâncias de ocorrência de vocalização chamam atenção para a importância da criança ouvir, quer a si própria, quer a outros, para o desenvolvimento daquelas vocalizações que eventualmente serão reconhecidas como fala pela comunidade linguística. A presença de deficiência auditiva envolvendo a faixa de frequência dentro da qual opera a voz humana leva a comprometimento de aquisição de fala, conforme se verifica nos casos de deficiência auditiva congênita ou adquirida em tenra idade (Fallside, 1979).

Manutenção da Fala

A manutenção de uma fala adequada também depende de dicas auditivas. As pessoas elevam ou abaixam a voz quando há mais ou menos barulho ambiental, aparentemente mantendo uma relação sinal/ruído. Em casos de deficiência auditiva permanente e profunda, adquirida após aquisição de linguagem, ocorre deterioração gradual de linguagem (Fallside, 1979), aparentemente pela perda de "feedback" auditivo. Nem todas as patologias de linguagem são relacionadas a patologias de audição, porém sua inclusão nesta seção ultrapassaria os objetivos deste artigo.

Passamos a uma descrição de deficiências auditivas, para então descrever as abordagens a seu manejo, de forma a recuperar ou substituir a utilização da fala e de outros sons, e assim permitir uma interação adequada do homem com seu ambiente social e físico.

Deficiências Auditivas

As patologias de audição podem ser classificadas em três grandes grupos, em

função de onde, no sistema auditivo, elas ocorrem. O tipo de distorção sensorial, o manejo e o prognóstico de recuperação são, até certo ponto, típicos do local da lesão.

As patologias de ouvido externo e ouvido médio são em geral patologias de condução, nas quais há algum tipo de obstrução à chegada do som à janela oval, funcionalmente a porta de entrada do ouvido interno. Estas obstruções vão desde excesso de cerume no canal, passando por ruturas na membrana timpânica, até calcificações nas articulações dos ossículos do ouvido médio. Nestas circunstâncias o som chega significativamente atenuado ao ouvido interno e a pessoa ouve quase que comparavelmente mal todas as freqüências (Katz, 1978). Experimentamos uma surdez deste tipo quando, como parte de um quadro gripal, nosso ouvido médio se enche de fluido. Para fins de demonstração podemos simular esta deficiência auditiva tampando os ouvidos. A maioria das patologias de condução é medicamentosa ou cirurgicamente corrigível e a audição normal se restabelece.

A típica patologia de ouvido interno é de transdução. Esta deficiência se deve inicialmente a funcionamento inadequado das células receptoras na cóclea, podendo eventualmente incluir as fibras aferentes do ramo coclear do oitavo nervo craniano, e é conhecida como surdez neurosensorial. De forma simplificada, as vibrações que chegam à janela oval, com o movimento da cadeia ossicular, não se transformam satisfatoriamente em impulsos nervosos na cóclea. Na maioria dos casos a patologia inicialmente compromete as células que vão codificar freqüências altas e posteriormente freqüências cada vez mais baixas⁶ são também afetadas.

Com o passar dos anos todos nós perdemos irreversivelmente um pouco de audição desta forma (Johnsson & Hawkins, 1972; Robinson & Sutton, 1979). Este processo pode ser acelerado, ou iniciado independentemente, por condições ocupacionais de exposição excessiva a ruído ou produtos tóxicos, por ingestão de certos medicamentos, como por exemplo os antibióticos do grupo aminoglicosídeo (Bredberg & Hunter-Duvar, 1975; Hawkins, 1976; Stebbins & Moody, 1979). Em casos brandos apenas as freqüências muito altas são prejudicadas. Como elas não compreendem a faixa importante para a fala, a deficiência auditiva pode até passar despercebida a seu portador, mas quando freqüências mais baixas são comprometidas, a compreensão da fala humana é prejudicada, e a dificuldade de comunicação pode ser significativa.

As alterações de percepção de som verificadas em surdez neurosensorial são elevação de limiar absoluto, alterações em análise de freqüência, em análise temporal, em percepção de "loudness", e em compreensão da fala (Evans, 1977; Feitosa, 1983; Tonndorf, 1980). Estas alterações são complexas e ainda não foram satisfatoriamente descritas e explicadas. (McFadden & Wightman, 1982, podem ser consultados para uma revisão recente da comparação entre audição normal e patológica.) Podemos simular esta deficiência nos expondo por algum tempo a um ruído intenso de amplo espectro. Isto não é uma recomendação, entretanto, já que pode resultar em dano permanente.

Patologias nervosas propriamente ditas as vezes são chamadas de retro-cocleares. Elas não serão tratadas neste artigo porque são menos freqüentes e porque o tipo de deficiência auditiva que produzem parece prejudicar mais sensações

⁶ Sons de freqüências diferentes excitam mais facilmente locais diferentes na cóclea, podendo se descrever em sua extensão longitudinal um mapa "tonotópico".

que dependem da comparação de informação proveniente dos dois ouvidos, como a localização de sons no espaço.

Quando a surdez se desenvolve após a aquisição plena de linguagem, o indivíduo tem um comprometimento essencialmente de compreensão. O eventual comprometimento de produção, na forma de uma gradual deterioração da fala, é secundário à falta de *feedback* auditivo. Quando a surdez ocorre antes da aquisição plena da linguagem o prejuízo é muito maior, não só de compreensão da fala, pela redução na redundância do sinal (conforme será visto na próxima seção), como de produção. A fala é difícil de ser entendida pelo interlocutor — é monotônica, apresenta defeitos em vogais e outros formantes, defeitos de ritmo, de controle de respiração, de nasalização (Fallside, 1979).

O diagnóstico precoce, principalmente em crianças, é importante, não só do ponto de vista médico, quanto educacional e social. A dificuldade de aquisição de linguagem e a decorrente dificuldade generalizada para aprender, relacionada ao entendimento precário da voz humana podem levar a dificuldades na escolarização e até a um diagnóstico indevido de deficiência mental. Embora existam programas bem estruturados de avaliação audiométrica para crianças e adolescentes (e.g., Anderson, 1978; Axelsson, Jerson, Lindberg & Lindberg, 1981) seu uso não é generalizado, mesmo em países desenvolvidos.

A fala é mais do que um sinal acústico, ao qual o homem responde com a bagagem de um sistema auditivo. Este sinal acústico é acompanhado de sinais visuais a respeito de topografias de resposta necessárias para a produção do sinal acústico, e que são facilmente acessíveis com a observação da face. O sinal acústico também é acompanhado de sinais táteis para o observador que explora a curta distância, ou em contato direto, o fluxo de ar proveniente das cavidades bucal e nasal, e as vibrações dos tecidos do nariz e do pescoço.

Quando os sons da fala são apresentados, não como fonemas ou palavras isoladas, mas em contexto, uma série de regras fornecem dicas adicionais que imprimem muita redundância aos sons da fala (K.N. Stevens, 1983). Primeiramente, numa dada língua nem todas as propriedades acústicas que os sons poderiam ter são plenamente utilizadas para estabelecer distinções. Os contextos sintático e semântico no qual uma palavra ocorre também imprimem grande redundância. No conjunto, estas regras permitem muita flexibilidade no uso de dimensões úteis para o estabelecimento de distinções fonéticas, quando a pessoa pode se valer plenamente delas; isto é, quando ouve bem e quando tem conhecimento lingüístico.

Aprimorando uma afirmação anterior, dizemos agora que a fala é um sinal acústico, ao qual o homem responde com a bagagem de um sistema auditivo especializado e de uma complexa história de interação com o meio. Na presença de deficiência auditiva a saliência acústica do estímulo pode ser mantida, pelo menos em tese, por atenção a um número maior, ou a um conjunto alternativo, de dimensões de estímulo. A sofisticação lingüística do deficiente auditivo pode lhe dar, então, valioso instrumental para a identificação dos sons da fala. Com estes subsídios para uma visão mais global de estratégias alternativas, ingressamos agora em uma análise de abordagens a como maximizar a comunicação do deficiente auditivo.

O Manejo da Deficiência Auditiva

As abordagens ao manejo da deficiência auditiva e da comunicação do (e com o) portador da deficiência podem ser sistematizadas e avaliadas de acordo com algumas questões básicas.

Uma primeira questão seria a respeito da decisão de explorar a própria modalidade auditiva, com esforço para recuperá-la ou corrigi-la, ou então substituí-la ou suplementá-la por outra modalidade sensorial. Na primeira perspectiva estão medidas como cirurgias corretivas, ampliação por aparelhos de surdez e o implante coclear. Na segunda perspectiva estão recursos como leitura labial e a transformação do som em sinais elétricos visualmente apresentáveis, quando a modalidade de escolha é a visual; ou medidas como transformação do sinal em um padrão vibratório, quando a modalidade de escolha é o tato.

Uma outra questão diz respeito à exploração de recursos não instrumentados, quer sejam naturais, como por exemplo leitura labial, quer sejam recodificados, como por exemplo linguagem por sinais; ou então instrumentados, como por exemplo a transformação da fala em um texto escrito, por um dispositivo eletrônico capaz de reconhecimento automático da fala.

Decisões básicas estão em jogo. As vantagens e limitações de opções diferentes (o abandono ou não da modalidade auditiva, a recodificação ou não do sinal, recurso ou não à instrumentação) devem ser analisadas à luz de uma série de questões como: Quais os objetivos específicos do programa de manejo? Qual a idade da pessoa no início da patologia? Qual a gravidade e prognóstico da patologia? Que tipo de som é beneficiado com um recurso específico? Qual a eficiência do recurso? Em que condições o recurso pode ser utilizado? Qual é o custo de implantação? Há necessidade de reeducação para utilização do recurso específico? Há necessidade de educação do interlocutor do deficiente? Outras perguntas relevantes poderiam ainda ser levantadas.

Como um exercício acerca das questões que acabamos de colocar, passamos a comentar sobre alguns recursos específicos, alertando para o fato de que o que se segue não é uma análise completa da questão.

Leitura labial. A leitura labial auxilia o deficiente na compreensão da fala em muitas situações sociais, por ser um recurso naturalmente disponível e não instrumentado. As dicas para a leitura labial são parte do comportamento de falar, mas não estão disponíveis para sons vocais cuja emissão não esteja acompanhada da presença da face humana adequadamente orientada, como por exemplo, a voz no telefone. A leitura labial, assim como outros recursos não instrumentados, apresenta a limitação adicional de proporcionar informação apenas lingüística.

Ampliação por aparelho de surdez. Descrito de forma simples, um aparelho de surdez é um dispositivo portátil composto de um microfone que capta os sons ambientais e um sistema de filtro que permite ampliação diferencial, de forma a compensar o tipo de deficiência auditiva. Contém também um circuito de compressão que estabelece um limite superior para o nível de saída do som. A idéia de amplificação é secular, mas só mais recentemente, com o avanço científico e tecnológico nas áreas relevantes, é que se está podendo maximizar a eficiência do aparelho e contornar problemas relativos ao fato de que a ampliação pode gerar distorções no som; a ampliação excessiva, além de desconforto, pode provocar mais surdez; a ampliação só melhora significativamente a inteligibilidade dos sons da fala se a curva de ampliação acústica for razoavelmente adaptada à curva de perda de sensibilidade auditiva de seu usuário (Fallside, 1979; Gregory & Drysdale, 1976; Skinner, 1980; vide também uma análise detalhada de aspectos clínicos e práticos da questão em Katz, 1978). O aparelho tem as vantagens de ampliar qualquer tipo de som e dispensar um programa sofisticado de educação de seu usuário. Sua utilização, especialmente por crianças, pode entretanto exigir supervisão pois, dife-

rentemente de um óculos, funciona a pilha e tem controle de nível acessível ao usuário!

Recursos eletrônicos educacionais de feedback visual da fala. Existem aparelhos eletrônicos não portáteis que, à semelhança de um osciloscópio comum, transformam os sinais acústicos ou padrões de articulação ou vibração em sinais visuais. Estes aparelhos podem ser recursos extremamente valiosos em programas de educação da voz na clínica. Podem ser utilizados em situações de aprendizagem por observação nas quais o aprendiz recebe instruções sobre o modelo de vocalização e procura reproduzi-lo. A utilização deste tipo de aparelho é inadequada em situações de campo. Descrições detalhadas destes recursos podem ser encontradas em Tower (1975).

O implante coclear. O implante coclear é basicamente um eletrodo ou um conjunto de eletrodos colocados espaçadamente ao longo da cóclea. Sua função é substituir a função das células sensoriais. Ele transforma o sinal acústico em elétrico e o apresenta às fibras periféricas do oitavo nervo craniano. Quando as fibras em alguma região da cóclea estão degeneradas, o sinal pode ser realocado para fibras sadias. O funcionamento do implante exige que haja um número adequado de fibras nervosas em condições de levar adiante o sinal emitido pelo implante.

O implante coclear é um recurso ainda em aprimoramento, apesar de estar sendo sistematicamente pesquisado desde a década de 50. Sua eficácia depende do equacionamento de uma série de variáveis com respeito a materiais, microeletrônica, fisiologia, técnica cirúrgica, relações psicofísicas para sons complexos, todas relevantes para que se preencham dois critérios básicos: a) garantir que o sinal produzido pelo implante seja adequado para propiciar percepção adequada da fala, e b) impedir que o implante contribua para piorar a patologia já existente, por exemplo, acelerando a degeneração nervosa.

O implante coclear é indicado para pessoas cuja patologia torna ineficaz a utilização de ampliação acústica e tem sido colocado em pessoas com surdez sensorial profunda. Curiosamente, para a pessoa com surdez profunda, a mera remoção da condição de privação auditiva pode gerar grande satisfação pessoal, mesmo na ausência de melhoria na capacidade de entender a fala. Este fato, citado anedoticamente por cirurgiões e clínicos, chama a atenção para a importância de uma análise comportamental adequada para avaliar a real função de estímulo do sinal produzido pelo implante. O progresso de pesquisa nesta área tem sido sistematicamente avaliado em uma série de trabalhos (Eddington, Dobelle, Brackmann, Mladejovski & Parkin, 1978; Parkins & Anderson, 1983; Pfingsf, Donaldson, Miller & Spelman, 1979).

Recursos táteis recodificados. Em estágio muito mais incipiente de pesquisa do que os recursos mencionados anteriormente, há uma série de projetos para o desenvolvimento de dispositivos capazes de transformar sons em um padrão vibratório a ser detectado em áreas de sensibilidade máxima da pele. A pesquisa nesta área tem que responder a questões fundamentais como: que código usar para frequência; b) que código usar para intensidade; c) como e até que ponto é viável a codificação simultânea de vários aspectos do som, já que a fala é, acusticamente um som complexo e variável. Curiosamente, foi usando a pele como modelo que Georg von Békésy fez descobertas germinais sobre a audição humana. Sherrick (1984) analisa, em uma extensa revisão crítica, o progresso de pesquisa na área. Uma perspectiva interessante destes recursos é poderem ser usados por pessoas para as quais ampliação acústica ou excitação direta da cóclea estão fora de cogitação. Dada a possível

complexidade da recodificação de estímulo necessária, é provável que a utilização deste tipo de recurso exija considerável treino educativo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, C.V. (1978). Hearing screening for children. In J. Katz (Ed.), *Handbook of clinical audiology* (2^a ed., pp. 48-60). Baltimore: Williams & Wilkins.
- AXELSSON, A., JERSON, T., LINDBERG, U. & LINDBERG, F. (1981). Early noise-induced hearing loss in teenage boys. *Scandinavian Audiology*, 10, 91-96.
- BEECHER, M.D., PETERSEN, M.R., ZOLOTH, S.R., MOODY, D.B. & STEBBINS, W.C. (1979). Perception of conspecific vocalizations by Japanese macaques. *Brain, Behavior and Evolution*, 16, 443-460.
- BELL, R.Q. (1974). Contributions of human infants to caregiving and social interactions. In M. Lewis & L.A. Rosenblum (Eds.), *The effect of the infant on its caregiver* (pp. 1-19). New York: John Wiley.
- BREDBERG, G. & HUNTER-DUVAR, I.M. (1975). Behavioral test of hearing and inner ear damage. In W.D. Keidel & W.D. Neff (Eds.), *Handbook of sensory physiology* (Vol. V/2, pp. 261-306). New York: Springer-Verlag.
- CAPRANICA, R.R. (1978). Auditory processing in anurans. *Federation Proceedings*, 37, 2324-2328.
- COOPER, F.S. (1980). Acoustics in human communication: evolving ideas about the nature of speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 68, 18-21.
- DURRANT, J.D. & LOVRINIC, J.H. (1977). *Bases of hearing science*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- EDDINGTON, D.K., DOBELLE, W.H., BRACKMAN, D.E., MLADEJOVSKI, M.G. & PARKIN, J.L. (1978). Auditory prostheses research with multiple channel intracochlear stimulation. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 87, Supl. 53.
- EVANS, E.F. (1977). Disorders of hearing and language: Understanding, diagnosis, rehabilitation (Seminar report). In T.H. Bullock (Ed.), *Recognition of complex acoustic signals*. Life Sciences Research Reports, 5.
- FALLSIDE, F. (1979). Communication aids for the deaf. *Endeavour*, 3, 63-68.
- FEITOSA, M.A.G. (1983). Changes in perception of loudness and absolute threshold associated with hair cell loss in the patas monkey. (Tese de doutoramento, The University of Michigan). Ann Arbor, MI: University Microfilms International. Publicação n° 83-14273.

- FENTON, M.B. & FULLARD, J.H. (1979). The influence of moth hearing on bat echolocation strategies. *Journal of Comparative Physiology*, 132, 77-86.
- FIELD, T.M., WOODSON, R., GREENBERG, R. & COHEN, D. (1982). Discrimination and imitation of facial expressions by neonates. *Science*, 218, 179-181.
- FLETCHER, H. & MUNSON, W.A. (1933). Loudness, its definition, measurement and calculation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 5, 82-108.
- GARDNER, R.B. & WILSON, J.P. (1979). Evidence for direction-specific channels in the processing of frequency modulation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 704-709.
- GELDARD, F.A. (1972). *The human senses* (2^a ed.). New York: John Wiley.
- GREEN, D.M. (1976). *An introduction to hearing*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- GREGORY, R.L. & DRYSDALE, A.E. (1976). Squeezing speech into the deaf ear. *Nature*, 264, 748-751.
- HAWKINS Jr., J.E. (1976). Drug ototoxicity. In W.D. Keidel & W.D. Neff (Eds.), *Handbook of sensory physiology* (Vol. V/3, pp. 707-748). Heidelberg: Springer-Verlag.
- HILL, K.G. & BOYAN, G.S. (1977). Sensitivity to frequency and direction of sound in the auditory system of crickets (*Gryllidae*). *Journal of Comparative Physiology. A*, 121, 79-97.
- JOHNSON, L.-G. & HAWKINS Jr., J.E. (1972). Sensory and neural degeneration with aging, as seen in microdissections of the human inner ear. *Annals of Otolaryngology and Laryngology*, 81, 179-192.
- KATSUKI, Y., WATANABE, T. & MARUYAMA, N. (1959). Activity of auditory neurons in upper levels of brain of cat. *Journal of Neurophysiology*, 22, 343-359.
- KATZ, J. (Ed.). (1978). *Handbook of clinical audiology* (2^a ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- KEWLEY-PORT, D. & PISONI, D.B. (1984). Identification and discrimination of rise time. Is it categorical or noncategorical? *Journal of the Acoustical Society of America*, 75, 1168-1176.
- KUHL, P.K. & PADDEN, D.M. (1983). Enhanced discriminability at the phonetic boundaries for the place feature in macaques. *Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 1003-1010.
- LENNEBERG, E.H. (1967). *Biological foundations of language*. New York: John Wiley.

- LEPPELSACK, H.-J. (1978). Unit response to species-specific sounds in the auditory forebrain center of birds. *Federation Proceedings*, 37, 2336-2341.
- LICKLIDER, J.C.R. (1951). Basic correlates of the auditory stimulus. In S.S. Stevens (Ed.), *Handbook of experimental psychology* (pp. 985-1039). New York: Wiley.
- McFADDEN, D. & WIGHTMAN, F.L. (1983). Audition: some relations between normal and pathological hearing. *Annual Review of Psychology*, 34, 95-128.
- PARKINS, C.W. & ANDERSON, S.W. (Eds.). (1983). *Cochlear prostheses*. New York: The New York Academy of Sciences.
- PFINGST, B.E., DONALDSON, J.A., MILLER, J.M. & SPELMAN, F.A. (1979). Psychophysical evaluation of cochlear prostheses in a monkey model. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 88, 613-625.
- REGAN, D. & TANSLEY, B.W. (1979). Selective adaptation to frequency-modulated tones: evidence for an information-processing channel selectively sensitive to frequency changes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 65, 1249-1257.
- ROBINSON, D.W. & SUTTON, G.J. (1979). Age effect in hearing - a comparative analysis of published threshold data. *Audiology*, 18, 320-334.
- SCHULLER, G. & POLLACK, G. (1979). Disproportionate frequency representation in the inferior colliculus of doppler-compensating greater horseshoe bats: evidence for an acoustic fovea. *Journal of Comparative Physiology*, 132, 47-54.
- SHERRICK, C.E. (1984). Basic and applied research on tactile aids for deaf people: progress and prospects. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75, 1325-1342.
- SKINNER, M.W. (1980). Speech intelligibility in noise-induced hearing loss: effects of high-frequency compensation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 67, 306-317.
- STEBBINS, W.C. & MOODY, D.B. (1979). Comparative behavioral toxicology. *Neurobehavioral Toxicology*, 1 (Supl. 1), 33-44.
- STEVENS, K.N. (1983). Acoustic properties used for the identification of speech sounds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 45, 2-17.
- STEVENS, K.N. & HOUSE, A.S. (1972). Speech perception. In J.V. Tobias (Ed.), *Foundations of modern auditory theory*. (Vol. 2, pp. 3-62). New York: Academic.
- STEVENS, S.S. (1975). *Psychophysics*. New York: Wiley & Sons.

- STEVENS, S.S. & DAVIS, H. (1938). *Hearing. Its psychology and physiology*. New York: John Wiley.
- SUGA, N. (1978). Specialization of the auditory system for reception and processing of species-specific sounds. *Federation Proceedings*, 37, 2342-2354.
- TANSLEY, B.W. & REGAN, D. (1979). Separate auditory channels for unidirectional frequency modulation and unidirectional amplitude modulation. *Sensory Processes*, 3, 132-140.
- TONNDORF, J. (1980). Acute cochlear disorders: the combination of hearing loss, recruitment, poor speech discrimination, and tinnitus. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 89, 353-358.
- TOWER, D.B. (Ed.). (1975). *The nervous system. Vol 3. Human communication and its disorders*. New York: Raven.
- WAKEFIELD, G.H. & VIEMEISTER, N.F. (1984). Selective adaptation to linear frequency-modulated sweeps: evidence for direction-specific FM channels? *Journal of the Acoustical Society of America*, 75, 1588-1592.